UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

ÉCOLE DOCTORALE MSII (ED n 269)

INSA DE STRASBOURG

Laboratoire de ICube - CSIP

THÈSE présentée par :

Masih HANIFI

soutenue le : **29 Septembre 2021**

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'Université de Strasbourg**
Discipline/ Spécialité : **Informatique – Génie industriel**

Amélioration du processus de la conception inventive par l'utilisation de méthodes agiles et d'algorithmes d'apprentissage automatique.

THÈSE dirigée par :

M. Rémy HOUSSIN	Directeur de thèse	Université de Strasbourg
M. Denis CAVALLUCCI	Co-directeur de thèse	INSA de Strasbourg
M. Hicham CHIBANE	Co-encadrant de thèse	INSA de Strasbourg

RAPPORTEURS :

M. Mickael GARDONI	Professeur des Universités, ETS, Montréal
M. Davy MONTICOLO	Professeur des Universités, ENSGSI, Nancy

Examinateur :

M. Kondo ADJALLAH	Professeur des Universités, ENIM, Metz

Résumé

1. Introduction

La réduction de la durée du cycle d'innovation est un enjeu crucial pour la compétitivité des entreprises [1], [2]. Dans cette optique, les entreprises sont constamment à la recherche d'approches méthodologiques qui les aident à réduire le temps du processus d'innovation sans sacrifier la valeur de leurs résultats. Parmi ces approches, on peut citer les systématiques telles que La conception inventive basée sur TRIZ.

1.1. TRIZ et ses inconvénients

Genrich Altshuler a développé TRIZ ou Théorie de la Résolution Inventive de Problèmes. Cette approche indique que les problèmes rencontrés par les concepteurs dans leurs projets ont probablement également été traités par d'autres concepteurs [3]. TRIZ pourrait aider à réduire le temps nécessaire pour révéler une solution optimale [4]. Cependant, l'application de la méthode TRIZ dans le département R&D présente plusieurs limites. Le premier est qu'il ne fournit aucune méthode pour formuler les problèmes dans les situations initiales. Deuxièmement, TRIZ ne propose aucun moyen pour amener ses utilisateurs à sélectionner les meilleures solutions parmi celles proposées. Troisième limitation, TRIZ ne fournit pas non plus un moyen précis de révéler une contradiction. Enfin, il n'y a pas de description complète de ses composants et de la relation entre eux dans le corpus de connaissances de TRIZ. Pour surmonter ces limitations, les chercheurs ont développé de nombreux cadres, parmi lesquels la Méthodologie de Conception Inventive (MCI) peut être mentionnée.

1.2. Méthodologie de conception inventive et ses inconvénients

La méthodologie de conception inventive (MCI) est un cadre qui a été développé au cours de plusieurs années de recherche pour résoudre les limites de TRIZ et pour compléter son corpus de connaissances avec d'autres théories telles que la théorie de Pugh ou la théorie des graphes [5]. Cette méthodologie comprend les quatre phases suivantes : 1) Phase d'analyse initiale, 2) Phase de formulation des contradictions, 3) Phase de synthèse du concept de solution et 4) Phase de sélection du concept de solution. Néanmoins, une des critiques souvent formulées est que cette approche n'a pas l'agilité nécessaire, et qu'elle est chronophage [5] [6] [7]. Cela est principalement dû à la recherche implicite dans chaque étude pour construire une carte complète d'une situation problématique dans la phase initiale en interrogeant des experts impliqués dans l'étude et en extrayant toutes leurs connaissances, quelle que soit leur efficacité pour résoudre le problème, pour clarifier la situation. Cette étape conduit à de nombreuses contradictions dont seules certaines sont utilisées dans la phase finale pour obtenir la solution [8]. Par conséquent,

il était nécessaire de combiner MCI avec d'autres méthodologies qui donnent à son processus les caractéristiques d'une méthodologie agile, y compris la capacité de développement évolutif et itératif, la capacité de générer une réponse rapide et flexible au changement, et la capacité de promouvoir la communication et capacité de planification adaptative [9]. Une de ces méthodologies est la méthode Lean.

1.3. Lean et son application à MCI

L'origine de la théorie du lean se trouve dans les pratiques de la Toyota Motor Corporation dans les années 1950 [10]. [11] and [12]. sont concentrés sur l'aspect de fabrication de l'entreprise. Cependant, leurs auteurs ont insisté sur la mise en œuvre des mêmes principes dans d'autres secteurs industriels, comme l'innovation, afin d'éliminer les activités sans valeur ajoutée dans une démarche d'excellence [13]. En conséquence, nous avons proposé d'appliquer les principes Lean pour augmenter l'agilité et l'efficacité de la phase d'analyse initiale de MCI. Dans cette application, les premier et deuxième principes nous ont aidés à mettre en évidence les activités sans valeur ajoutée au sein de cette phase. Nous nous sommes ensuite inspirés des troisième et quatrième principes pour développer Graph de Problème Inverse (GPI).

1.4. Structure de la thèse

La structure de la thèse est organisée comme suit :

- Chapitre 1 : Introduction générale (contexte et objective de la thèse)
- Chapitre 2 : Revue détaillée de la littérature sur les approches innovantes des problèmes, la théorie de la résolution inventive des problèmes (TRIZ) et les cadres basés sur TRIZ.
- Chapitre 3 : Revue de la littérature sur les méthodes d'analyse initiale et la théorie Lean. Ensuite, la méthode du GPI proposée est détaillée, une application sur l'étude de cas « Covid-19 » est illustrée. Une comparaison entre GPI et d'autres techniques de formuler des problèmes est discutée à la fin de ce chapitre.
- Chapitre 4 : Intégration des méthodes AMDEC, PHA pour l'amélioration du GPI, application sur une étude de cas industriel « Biomass Power Plant ».
- Chapitre 5 : Revue de techniques de plongement de documents « Document-embedding », et d'algorithmes d'apprentissage automatique. A la fin de ce chapitre, la structure globale de la méthode est représentée.
- La fin de cette thèse, la conclusion et les suggestions pour des travaux futurs ont été développés.

2. L’état de l’art

L'analyse initiale en conception inventive est une phase de collecte de connaissances. Elle repose sur l’analyse de plusieurs ressources, à savoir, des brevets et des documents internes à l'entreprise, consignant le savoir-faire des expert ainsi que des données existantes relatives au sujet étudié [14] [15] [16] [17]. Il existe plusieurs méthodes pour formuler un problème lors de la conception d'un produit ou d'un processus innovant, des méthodes basées sur la recherche de causes, et d'autres sur la recherche d’effets.

Le premier groupe est lié aux méthodes et techniques qui sont utilisées pour identifier les causes qui créent les problèmes dans un projet d'innovation. Certaines méthodes dans ce groupe ne permettent pas de formuler de contradictions telles que : Ishikawa, les 5 Pourquoi et l'Analyse des chaînes causes-effets [18]. Ces méthodes permettent de classer les causes explorées dans plusieurs catégories, ce qui permet d'identifier les domaines dans lesquels des informations devraient être recueillies pour une étude plus approfondie [19] [20] [21][22] [23] [24]. D'autres méthodes sont basées sur la formulation de contradictions, on trouve par exemple: l'analyse des contradictions racines plus (ACR+), l'analyse de la chaîne de cause à effet plus" [20] [25] [26] [27]. Les méthodes basées sur la formulation de contradictions sont les plus adaptés pour le traitement des problèmes inventifs et des problèmes complexes. Cet ensemble de méthodes est limité par l'importance du nombre de problèmes à traiter, ce qui alourdit considérablement le temps du traitement et d'analyse lors de l’activité de conception.Le deuxième groupe de méthodes est basé sur la recherche des effets des problèmes initiaux. Dans ce groupe, nous trouvons le Réseau de problèmes (RP), et le graphe de problèmes qui est une version améliorée du RP. Ces méthodes permettent de décomposer un problème global en un ensemble de sous-problèmes, plus faciles à résoudre [28] [29] [30]. Étant donné que la définition initiale du problème est souvent trop générale, le réseau de sous problèmes reste vaste et trop complexe, ceux qui implique un temps considérable pour assurer le bon déroulement du processus de conception [31] [32] [33].

Toutes ces méthodes ont cependant une limite, elles n’optimisent pas l’usage des chaînes de causes et d'effets créées lors de l'étape de solution. Ajoutons à cela le temps que les concepteurs consacrent inutilement à la collecte des informations au début du projet sans savoir à l’avance si ces dernières seront utiles à la caractérisation de la solution finale ou non. Notre méthode propose de ne pas retenir tous les sous-problèmes à résoudre afin d’augmenter l'agilité du processus et réduire ainsi considérablement le temps nécessaire de la conduite d’un projet. Dans la section suivante, nous présentons cette méthode.

3. Méthode proposée : Graphe de Problèmes Inverse

La méthode proposée se base sur le Graphe de Problèmes Inverse (GPI), dans cette section la définition et le processus de ce dernier sont illustrées.

3.1. Définition du Graphe de Problèmes Inverse (GPI) :

La méthode du Graphe de Problèmes Inverse considère 5 notions importantes : Les problèmes, les solutions partielles, les paramètres, les niveaux, et les itérations.

Problème : un problème décrit un obstacle qui empêche la réalisation de ce qui doit être fait. Dans notre méthode, nous comptons 5 types de problèmes :

- Problème Initial : il définit la problématique globale du projet et il est placé dans le premier niveau du graphique.
- Problème Nuisible : Nuisance pour le système.
- Problème Source de Solution Partielle : Le caractère nuisible associé au problème conduit à une solution partielle.
- Problème Nuisible-Utile : Combinaison de nocivité et d'utilité pour le système (convertibilité en solution partielle).
- Problème en lien avec les limites de capacité (hors domaine ou technologie, budgétaire, etc.)

Solution partielle : Une phrase qui expose les connaissances du concepteur ou présente dans un brevet déposé par l'entreprise ou sa concurrence et leur expérience.

Paramètres : les paramètres existants dans la structure du GPI sont divisés en deux groupes :

- Paramètres d'évaluation : ce sont les paramètres qui donnent au concepteur la capacité d'évaluer ses choix de conception.
- Paramètres d'action : leur nature réside dans la capacité de modification de l'état du système.

Niveau : Précise l'emplacement du problème et de la solution partielle dans le GPI, à partir problème initial.

Itération : Numéro d'entrée au GPI, afin de choisir une contradiction. Cette notion a été ajoutée à la structure de la méthode proposée. Elle définit le principe dans Lean selon lequel nous devrions créer un flux d'informations.

3.2. Processus du Graphe de Problèmes Inverse

Dans cette section, nous présentons les étapes du processus du Graphe de Problème Inverse (GPI). Ces étapes sont les suivantes, Figure 1 :

Étape 1 : Définir l'objectif du projet

Étape 2 : Définir le problème initial

Étape 3 : Trouver des problèmes liés au problème initial

Etape 4 : Classifier les problèmes en fonction de leur importance

Étape 5 : Déterminer le type de problème sélectionné : Un problème peut être Nuisible-Utile ou Nuisible.

Si le problème sélectionné était un problème Nuisible-Utile, il est essentiel de convertir le problème nuisible-utile en une solution partielle. Par la suite, les concepteurs doivent identifier les causes de la solution partielle.

Si le problème sélectionné était un problème Nuisible, le concepteur doit continuer la chaîne des causes jusqu'à obtenir un problème Nuisible-Utile.

Étape 6 : Extraire la contradiction illustrée du graphe

Étape 7 : Attribuer les paramètres appropriés aux contradictions

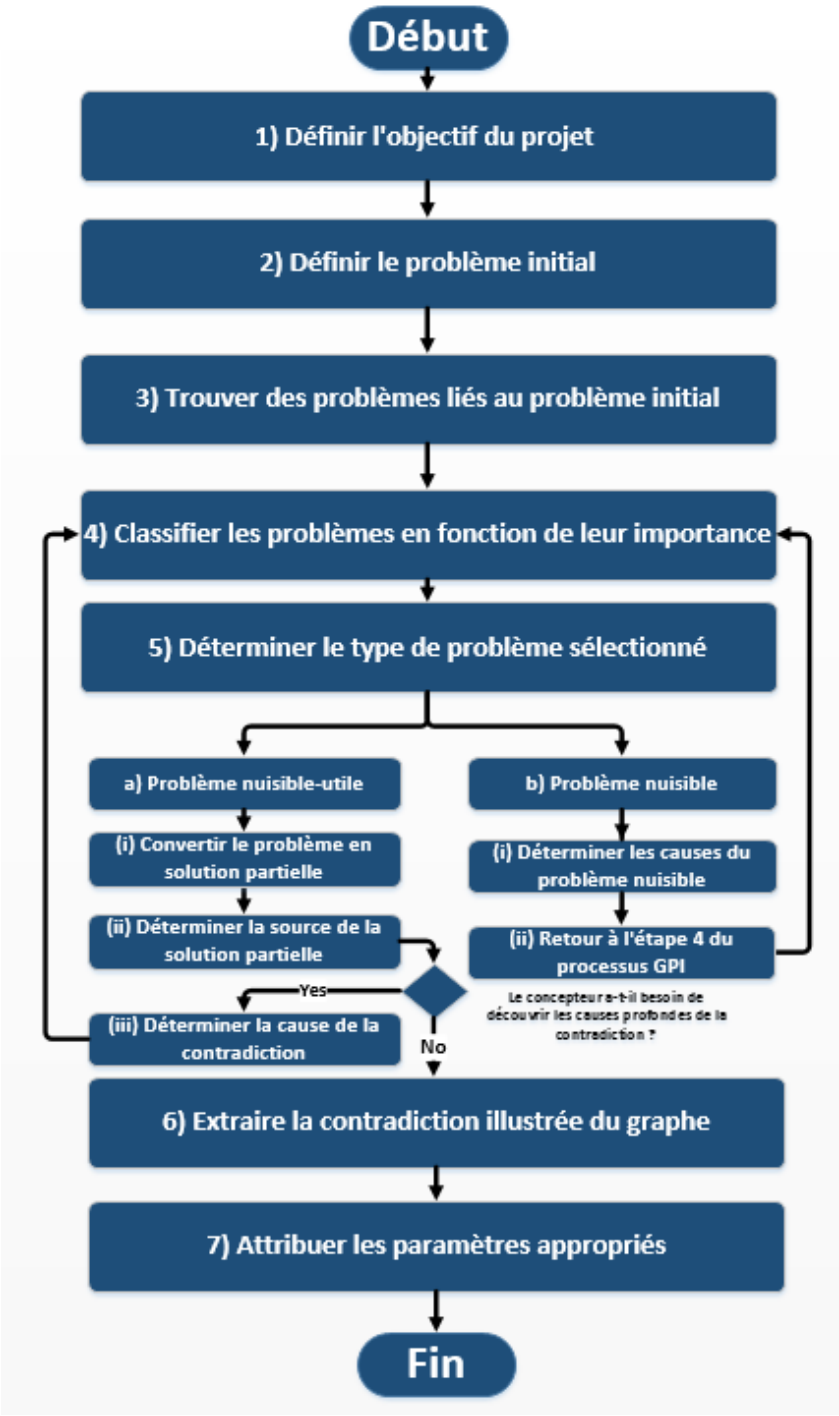

Figure 1. Les étapes du Graphe de Problèmes Inverse (GPI)

4. Compléments au Graphe de Problèmes Inverse

Le GPI augmente considérablement l'agilité du processus de la conception inventive. Cependant, la version initiale du GPI présente nécessite une étape de priorisation des problèmes initiaux, et GPI faciliter/automatiser la collecte des données essentielles

4.1. La priorisation des problèmes initiaux pour l'GPI :

IPG pourrait contribuer à améliorer l'agilité du processus de conception inventive. Cependant, il ne peut pas montrer la manière de prioriser les problèmes initiaux pour démarrer un projet. Par conséquent, il est nécessaire d'intégrer la méthode du Graphe de Problème Inverse aux approches telles que les méthodes AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) et PAH (Processus d'Analyse Hiérarchique) pour sélectionner le problème initial le plus important.

L'AMDEC est une technique d'ingénierie largement appliquée pour améliorer un système en identifiant et en éliminant les défaillances potentielles [34]. La version originale de cette technique utilise la méthode Risk Priority Number (RPN) pour hiérarchiser les défaillances identifiées [35]. Cependant, la méthode RPN a été critiquée dans la littérature en raison de certains inconvénients [36]. Par conséquent, de nombreux auteurs ont proposé d'intégrer l'approche AMDEC avec des méthodes alternatives telles que Processus d'Analyse Hiérarchique (PAH) [37]. PAH est une méthode mathématique pour hiérarchiser un ensemble donné d'alternatives en considérant les critères de décision [38]. Depuis l'introduction de PAH, cette méthode a été appliquée à de nombreux types de problèmes de décision, tels que la justification de nouvelles technologies de fabrication ou l'évaluation d'alternatives stratégiques [39]. Afin de résoudre le premier inconvénient de GPI, nous avons proposé d'intégrer les méthodes AMDEC, PAH dans le processus de graphe de problèmes inverse. Cette proposition se compose de trois phases pour montrer la contradiction la plus importante dans la première itération du graphe du problèmes inverse. Figure 2 illustre ces phases. Dans une première phase, l'application de la méthode AMDEC permet de déterminer l'objectif, les éventuels problèmes initiaux et les critères du projet. La deuxième phase concerne la hiérarchisation des problèmes initiaux en appliquant la méthode PAH. Dans la troisième phase, le graphe du problème inverse du problème initial sélectionné doit être construit. Les étapes de chaque phase sont les suivantes :

4.1.1. Première phase :

1) Définition de l'objectif du projet
2) Identification des problèmes initiaux en tant que les modes de défaillance en AMDEC
3) Détermination des critères en tant que les facteurs de risque de la méthode AMDEC

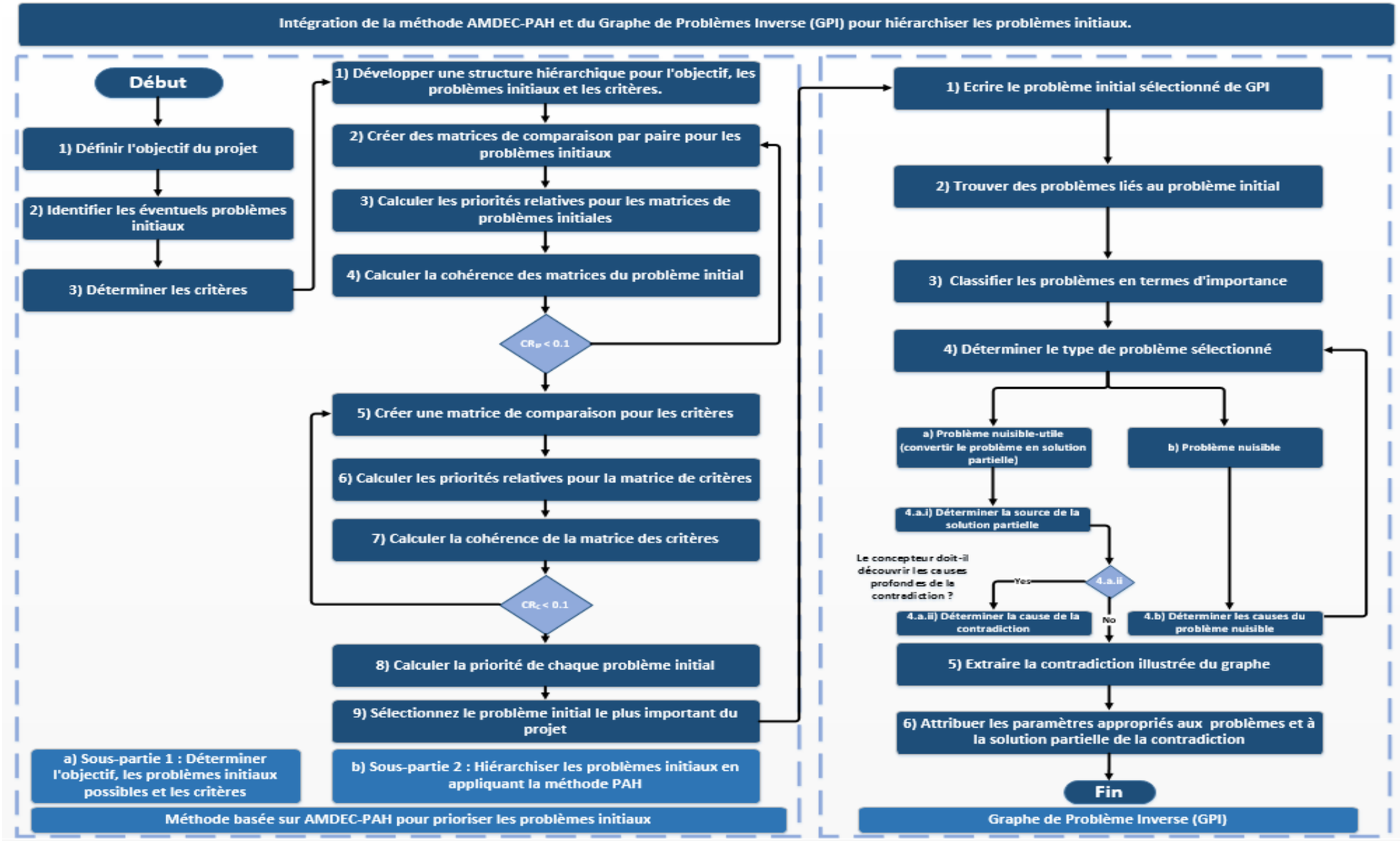

Figure 2. Les différentes parties de la méthode basée sur AMDEC-PAH

4.1.2. Deuxième phase :

1) Développer une structure hiérarchique pour l'objectif, les problèmes initiaux et les critères
2) Créer des matrices de comparaison par paire pour les problèmes initiaux
3) Calculer les priorités relatives pour les matrices des problèmes initiaux
4) Calculer la cohérence des matrices des problèmes initiaux
5) Créer une matrice de comparaison pour les critères
6) Calculer les priorités relatives pour la matrice des critères
7) Calculer la cohérence de la matrice des critères
8) Calculer la priorité de chaque problème initial
9) Sélectionner le problème initial le plus important du projet

4.1.3. Troisième phase (Les étapes du GPI) :

1) Ecrire le problème initial choisi sur le graphe
2) Déterminer les problèmes liés au problème initial sélectionné
3) Classifier les problèmes en termes d'importance
4) Déterminer le type de problème sélectionné
5) Extraire la contradiction illustrée du graphe
6) Attribuer des paramètres appropriés aux problèmes et à la solution partielle de la contradiction

4.2. La collecte des données essentielles pour l'GPI

GPI ajoute à MCI les caractéristiques des méthodologies agiles [9], qui sont le développement évolutif et itératif, la réponse flexible et rapide au changement, la promotion de la communication et la planification adaptative. Par conséquent, elle pourrait augmenter de manière significative l'agilité de cette approche systématique basée sur TRIZ. Néanmoins, la collecte des données essentielles (paramètres positifs, paramètres négatifs, paramètres TRIZ, contradictions, concepts) par l'application de GPI se fait toujours manuellement, ce qui nécessite des efforts et du temps et réduit considérablement l'agilité de la méthode. Par conséquent, il est essentiel d'intégrer une technique de recherche automatique d'informations, telle que le modèle doc2vec de réseau neuronal et les algorithmes de classification de texte par apprentissage automatique, dans la méthode GPI afin d'accroître son agilité.

Le modèle Doc2vec est proposé par Le et al. dans [40] (vecteurs de paragraphe) comme méthode d'plongement de documents en 2014. Ce modèle est applicable dans la classification de textes et le calcul de similarité de documents [41]. La classification de texte est connue comme la tâche de classer un texte donné dans un ensemble de classes prédéfinies [42]. Pour ce faire, il est possible d'appliquer des algorithmes d'apprentissage automatique [43]. Afin de résoudre le deuxième inconvénient, nous avons proposé d'intégrer le modèle doc2vec et les algorithmes d'apprentissage automatique dans la méthode GPI. Cette intégration nous a permis d'introduire une nouvelle méthode pour les phases d'analyse initiale et de conception de solutions du processus de conception inventive. Cette méthode se compose de deux parties principales : 1) Graphe de Problèmes Inverse (GPI), et 2) Agile Automatisé-Système de Réponse aux Questions (AA-SRQ). Les sous-parties et les étapes de chaque partie sont les suivants, Figure 3.

4.2.1. Part1 : La version modifiée du Graphe de Problèmes Inverse (GPI)

1) Définir le problème initial en considérant l'objectif du projet, et passer à l'étape « créer un question What-Cause » de la partie « Agile Automatisé-Système de Réponse aux Questions (AA-SRQ) » afin de trouver les problèmes associés.
2) Trouver les problèmes liés au problème initial en appliquant les connaissances de la base de données
3) Classifier les problèmes en termes d'importance
4) Déterminer le type de problème sélectionné
5) Extraire la contradiction illustrée du graphe
6) Attribuer les paramètres appropriés à la contradiction en utilisant les paramètres extrait du corpus de problèmes
7) Construire le modèle de poly-contradiction en utilisant les paramètres attribués
8) Trouver les concepts de solution appropriés en les extrayant du corpus de concepts (un corpus général)

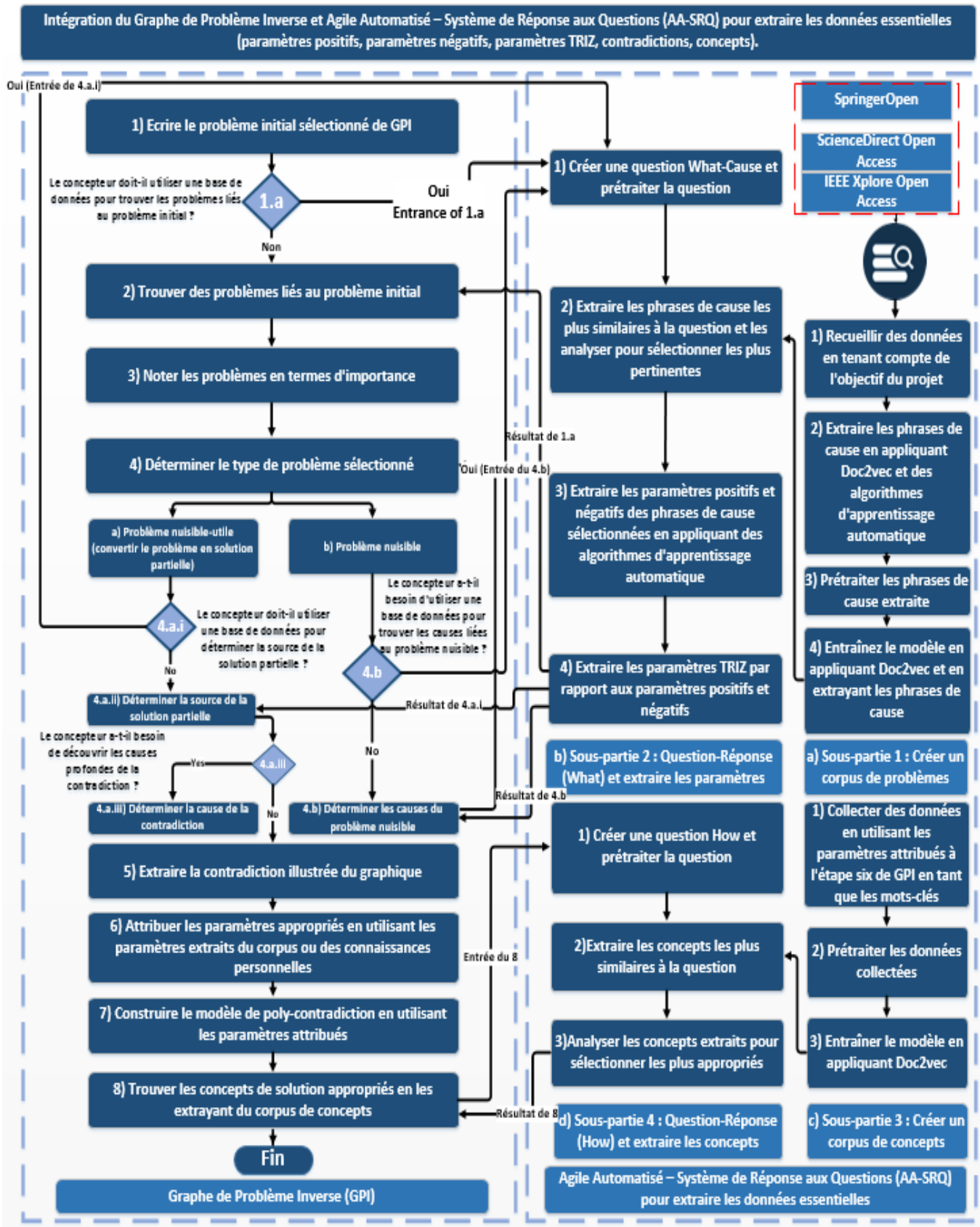

Figure 3. Les différentes parties de la méthode basée sur (AA – SR)

4.2.2. Part2 : Agile Automatisé-Système de Réponse aux Questions (AA-SRQ) : Cette partie est divisée en quatre sous-parties :

Sous-partie 2.1 : Créer un corpus de problèmes. Cette sous-partie comprend les étapes suivantes :

1) Recueillir des données en tenant compte de l'objectif du projet
2) Extraire les phrases de cause en appliquant Doc2vec et des algorithmes d'apprentissage automatique
3) Prétraiter les phrases de cause extraite
4) Entraînez le modèle en appliquant Doc2vec et en extrayant les phrases de cause

Sous-partie 2.2 : Question-Réponse (What) et extraire les paramètres. Cette sous-partie comprend les étapes suivantes :

1) Créer une question What-Cause et prétraiter la question
2) Extraire les phrases de cause les plus similaires à la question et les analyser pour sélectionner les plus pertinentes
3) Extraire les paramètres positifs et négatifs des phrases de cause sélectionnées en appliquant des algorithmes d'apprentissage automatique
4) Extraire les paramètres TRIZ par rapport aux paramètres positifs et négatifs

Sous-partie 2.3 : Créer un corpus de problèmes. Cette sous-partie comprend les étapes suivantes :

1) Collecter des données en utilisant les paramètres attribués à l'étape six de GPI en tant que les mots-clés
2) Prétraiter les données collectées
3) Entraîner le modèle en appliquant Doc2vec

Sous-partie 2.4 : Question-Réponse (How) et extraire les paramètres. Cette sous-partie comprend les étapes suivantes :

1) Créer une question How et prétraiter la question
2) Extraire les concepts les plus similaires à la question
3) Analyser les concepts extraits pour sélectionner les plus appropriés

La relation entre des différentes parties du système avec les chapitres de la thèse est représentée dans la figure 4.

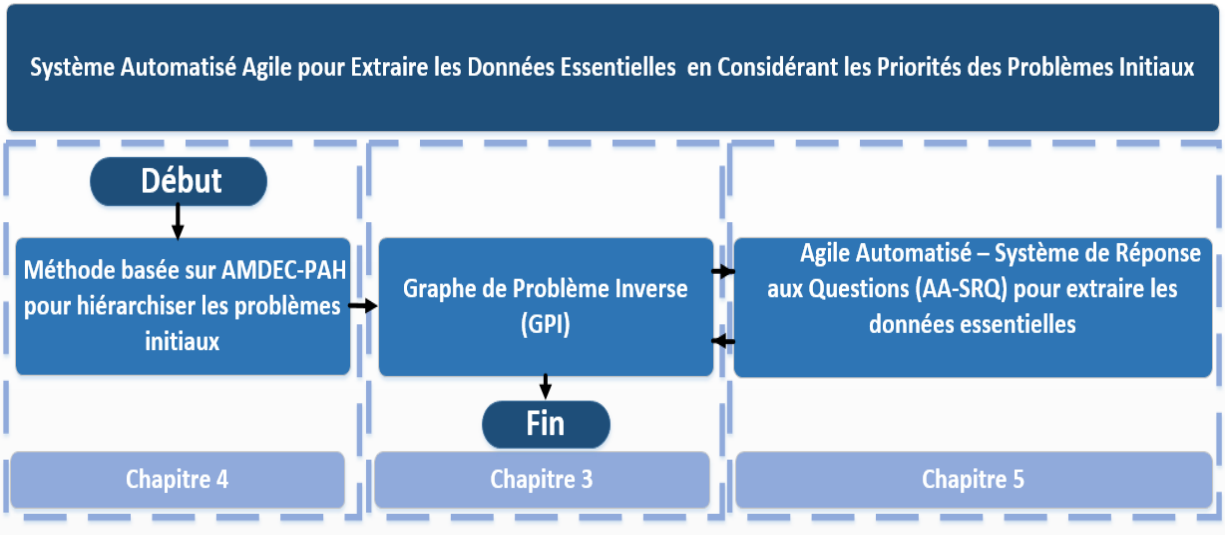

Figure 4. La relation des différentes parties du système ave les chapitres de la thèse

5. Contribution de la thèse

Les principales contributions de cette thèse au processus de conception inventive se reflètent sous plusieurs aspects. Comme première contribution, l'application des principes Lean est d'optimiser le temps de formulation du problème en ne gardant que les éléments essentiels de l'étude à collecter. Deuxièmement, l'intégration des méthodes AMDEC et PHA aide à formuler la contradiction la plus importante à chaque itération de l'analyse initiale de la conception inventive. Comme troisième contribution principale, l'application du modèle doc2vec et des algorithmes d'apprentissage automatique contribue à accélérer et à faciliter la collecte d'informations essentielles, y compris les paramètres et les concepts de solutions

Le processus final détaillé proposé est représenté par la figure 5.

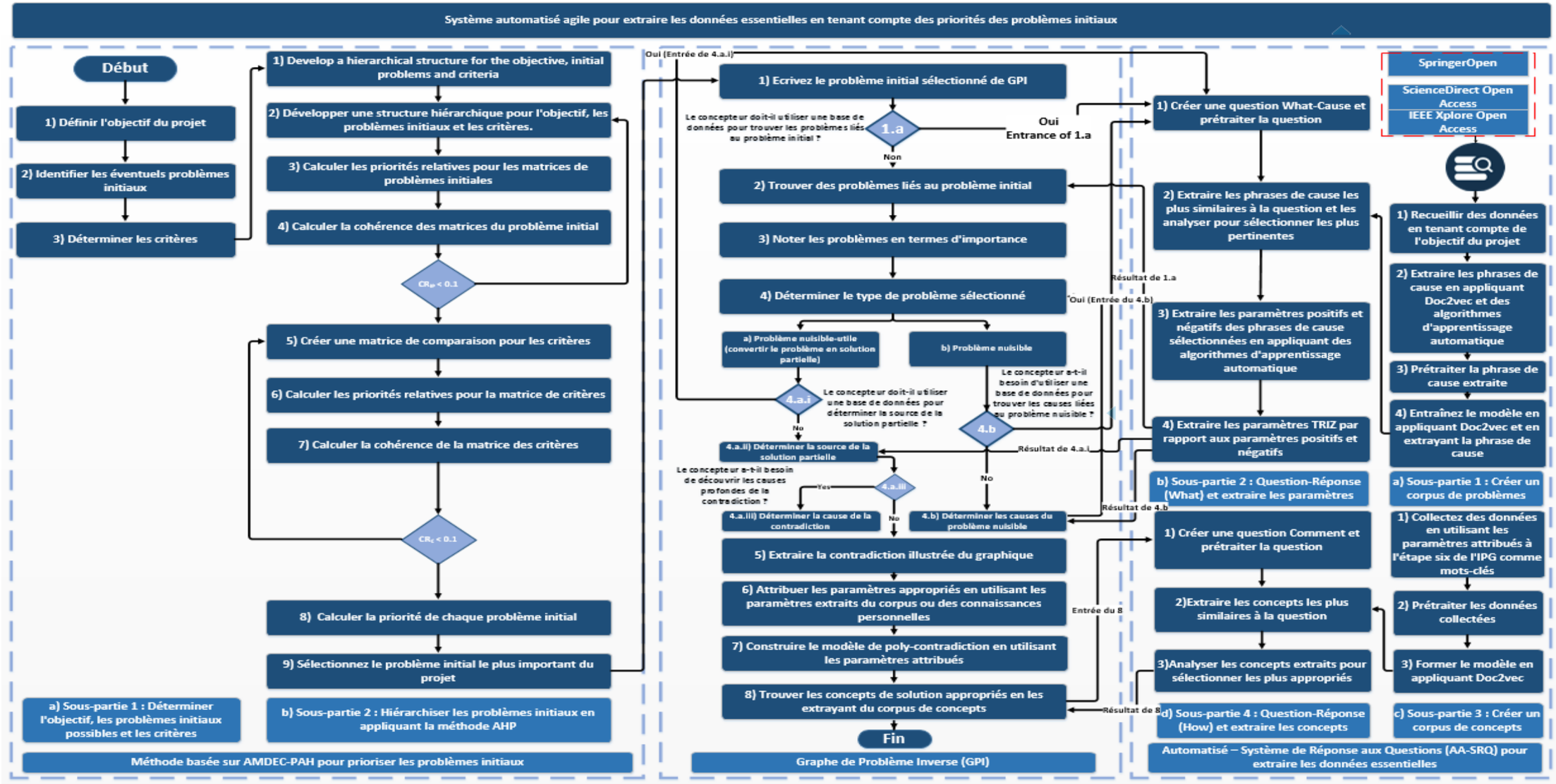

Figure 5. Le processus proposé complet

Publication personnelles :

1. ***Hanifi, M***., Chibane, H, Houssin, R., and Cavallucci, D.. 2021. "IPG as a new method to improve the agility of the initial analysis of the inventive design." *FME Transactions Journal*, *49*(3), 549-562.
2. ***Hanifi, M***., Chibane, H, Houssin, R., and Cavallucci, D.. 2021. "Problem formulation in inventive design, using Doc2vec as an Artificial Intelligence method and Scientific Paper" *Engineering Applications of Artificial Intelligence Journal*. ***Accepted***.
3. ***Hanifi, M***., Chibane, H, Houssin, R., Cavallucci, D, and Ghannad, N. 2021. "A method for facilitating and accelerating extraction of the essential data in inventive design." *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing Journal*. ***Under review***.
4. Slim, R., Houssin, H, Coulibaly, A., ***Hanifi, M***., and Chibane, H.. 2021. "Framework for resolving problems resulting from lean integration from the early design phases of production 3D printing machine." *FME Transactions Journal* , *49*(2), 279-290.

International conferences:

1. ***Hanifi, M***., Chibane, H, Houssin, R., and Cavallucci, D.. 2019. "Improving inventive design methodology's agility" *International TRIZ Future Conference* (pp. 216-227). Springer, Cham.
2. ***Hanifi, M***., Chibane, H, Houssin, R., and Cavallucci, D.. 2020. "A Method to Formulate Problem in Initial Analysis of Inventive Design" In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 311-323). Springer, Cham.
3. ***Hanifi, M***., Chibane, H, Houssin, R., and Cavallucci, D.. 2020. "Contribution to TRIZ in Combining Lean and Inventive Design Method" In *International TRIZ Future Conference* (pp. 280-291). Springer, Cham.
4. ***Hanifi, M***., Chibane, H, Houssin, R., and Cavallucci, D.. 2021. "Application of an FMEA based method to prioritize the initial problem choices in Inventive Design" In *International TRIZ Future Conference*. ***Accepted***.

Références

[1] G. Stalk et T. M. Hout, « Competing Against Time », Res.-Technol. Manag., vol. 33, no 2, p. 19-24, mars 1990, doi: 10.1080/08956308.1990.11670646.

[2] M. A. Cohen, J. Eliasberg, et T.-H. Ho, « New Product Development: The Performance and Time-to-Market Tradeoff », Manag. Sci., vol. 42, no 2, p. 173-186, févr. 1996, doi: 10.1287/mnsc.42.2.173.

[3] G. Altshuller, And Suddenly The Inventor Appeared TRIZ. Technical Innovation Ctr; Édition : 2 (1 mai 1996).

[4] D. D. Sheu et H.-K. Lee, « A Proposed Classification and Process of Systematic Innovation », Int. J. Syst. Innov., vol. 1, no 1, p. 20, 2010.

[5] K.-H. Chai, J. Zhang, et K.-C. Tan, « A TRIZ-Based Method for New Service Design », J. Serv. Res., vol. 8, no 1, p. 48-66, août 2005, doi: 10.1177/1094670505276683.

[6] D. Cavallucci, F. Rousselot, et C. Zanni, « Assisting R&D activities definition through problem mapping », CIRP J. Manuf. Sci. Technol., vol. 1, no 3, p. 131-136, janv. 2009, doi: 10.1016/j.cirpj.2008.09.014.

[7] A. Souili et D. Cavallucci, « Automated Extraction of Knowledge Useful to Populate Inventive Design Ontology from Patents », in TRIZ – The Theory of Inventive Problem Solving, D. Cavallucci, Éd. Cham: Springer International Publishing, 2017, p. 43-62. doi: 10.1007/978-3-319-56593-4_2.

[8] M. Hanifi, H. Chibane, R. Houssin, et D. Cavallucci, « Improving Inventive Design Methodology's Agility », in New Opportunities for Innovation Breakthroughs for Developing Countries and Emerging Economies, vol. 572, R. Benmoussa, R. De Guio, S. Dubois, et S. Koziołek, Éd. Cham: Springer International Publishing, 2019, p. 216-227. doi: 10.1007/978-3-030-32497-1_18.

[9] G. Kumar et P. K. Bhatia, « Impact of Agile Methodology on Software Development Process », Int. J. Comput. Technol. Electron. Eng. IJCTEE, vol. 2, no 4, p. 46-50, 2012.

[10] H. Chen et R. Taylor, « Exploring the impact of lean management on innovation capability », in PICMET '09 - 2009 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology, Portland, OR, USA, août 2009, p. 826-834. doi: 10.1109/PICMET.2009.5262042.

[11] J. Womack, D. Jones, D. Roos, et D. Carpenter, « The machine that changed the world », Rawson Assoc., 1991.

[12] J. Womack et D. Jones, « BANISH WASTE AND CREATE WEALTH IN YOUR CORPORATION », Recuperado Httpwww Kvimis Co Insiteskvimis Co InfilesebookattachmentsJames, 2003.

[13] P. Ugochukwu, J. Engstrom, et J. Langstrand, « LEAN IN THE SUPPLY CHAIN: A LITERATURE REVIEW », Manag. Prod. Eng. Rev., vol. 3, no 4, p. 10, 2012.

[14] D. Cavallucci et I. Strasbourg, « From TRIZ to Inventive Design Method (IDM): towards a formalization of Inventive Practices in R&D Departments », p. 2, 2012.

[15] T. Chinkatham et D. Cavallucci, « On Solution Concept Evaluation/Selection in Inventive Design », Procedia Eng., vol. 131, p. 1073-1083, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.12.425.

[16] C. Zanni-Merk, D. Cavallucci, et F. Rousselot, « Use of formal ontologies as a foundation for inventive design studies », Comput. Ind., vol. 62, no 3, p. 323-336, avr. 2011, doi: 10.1016/j.compind.2010.09.007.

[17] D. Cavallucci, « Designing the Inventive Way in the Innovation Era », in An Anthology of Theories and Models of Design, A. Chakrabarti et L. T. M. Blessing, Éd. London: Springer London, 2014, p. 237-262. doi: 10.1007/978-1-4471-6338-1_12.

[18] M. Koripadu et K. V. Subbaiah, « Problem Solving Management Using Six Sigma Tools & Techniques », vol. 3, no 2, p. 3, 2014.

[19] K. C. Wong, K. Z. Woo, et K. H. Woo, « Ishikawa Diagram », in Quality Improvement in Behavioral Health, W. O'Donohue et A. Maragakis, Éd. Cham: Springer International Publishing, 2016, p. 119-132. doi: 10.1007/978-3-319-26209-3_9.

[20] C. Dobrusskin, « On the Identification of Contradictions Using Cause Effect Chain Analysis », Procedia CIRP, vol. 39, p. 221-224, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.01.192.

[21] D. Gîfu, M. Teodorescu, et D. Ionescu, « Design of a Stable System by Lean Manufacturing », Int. Lett. Soc. Humanist. Sci., vol. 28, p. 61-69, mai 2014, doi: 10.18052/www.scipress.com/ILSHS.28.61.

[22] M.-G. Lee, L. Chechurin, et V. Lenyashin, « Introduction to cause-effect chain analysis plus with an application in solving manufacturing problems », Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 99, no 9-12, p. 2159-2169, déc. 2018, doi: 10.1007/s00170-018-2217-1.

[23] O. Y. Abramov, « *TRIZ-BASED CAUSE AND EFFECT CHAINS ANALYSIS VS ROOT CAUSE ANALYSIS », p. 8.

[24] B. Zlotin et A. Zusman, « TRIZ Software for Creativity and Innovation Support », 2013, doi: 10.1007/978-1-4614-3858-8.

[25] Valeri Souchkov, « Application of Root Conflict Analysis (RCA+) to formulate inventive problems in the maritime industry », 51 Sci. J. Marit. Univ. Szczec., vol. 123, no 51, 2017, doi: 10.17402/225.

[26] V. V. Souchkov, « A Guide to Root Conflict Analysis (RCA+). ICG Training \& Consulting », p. 26, 2018.

[27] V. Souchkov et R. Hoeboer, « TRIZ IN BUSINESS: APPLICATION OF RCA+ TO IDENTIFY AND SOLVE CONFLICTS RELATED TO BUSINESS PROBLEMS », ETRIA TFC, p. 9--11, 2006.

[28] L. Fiorineschi, F. S. Frillici, et P. Rissone, « A Comparison of Classical TRIZ and OTSM-TRIZ in Dealing with Complex Problems », Procedia Eng., vol. 131, p. 86-94, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.12.350.

[29] N. Becattini, G. Cascini, et F. Rotini, « OTSM-TRIZ Network of Problems for Evaluating the Design Skills of Engineering Students », Procedia Eng., vol. 131, p. 689-700, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.12.356.

[30] N. Becattini, G. Cascini, et F. Rotini, « An OTSM-TRIZ Based Framework Towards the Computer-Aided Identification of Cognitive Processes in Design Protocols », in Design Computing and Cognition '14, J. S. Gero et S. Hanna, Éd. Cham: Springer International Publishing, 2015, p. 99-117. doi: 10.1007/978-3-319-14956-1_6.

[31] D. Cavallucci, F. Rousselot, et C. Zanni, « Initial situation analysis through problem graph », CIRP J. Manuf. Sci. Technol., vol. 2, no 4, p. 310-317, janv. 2010, doi: 10.1016/j.cirpj.2010.07.004.

[32] A. Howladar et D. Cavallucci, « Analysing complex engineering situations through problem graph », Procedia Eng., vol. 9, p. 18-29, 2011, doi: 10.1016/j.proeng.2011.03.097.

[33] A. Souili, D. Cavallucci, F. Rousselot, et C. Zanni, « Starting from Patents to Find Inputs to the Problem Graph Model of IDM-TRIZ », Procedia Eng., vol. 131, p. 150-161, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.12.365.

[34] W. Wang, « A risk evaluation and prioritization method for FMEA with prospect theory and Choquet integral », Saf. Sci., p. 12, 2018.

[35] Z. Wang, Y. Ran, Y. Chen, H. Yu, et G. Zhang, « Failure mode and effects analysis using extended matter-element model and AHP », Comput. Ind. Eng., vol. 140, p. 106233, févr. 2020, doi: 10.1016/j.cie.2019.106233.

[36] H.-C. Liu, L.-E. Wang, Z. Li, et Y.-P. Hu, « Improving Risk Evaluation in FMEA With Cloud Model and Hierarchical TOPSIS Method », IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 27, no 1, p. 84-95, janv. 2019, doi: 10.1109/TFUZZ.2018.2861719.

[37] H.-W. Lo et J. J. H. Liou, « A novel multiple-criteria decision-making-based FMEA model for risk assessment », Appl. Soft Comput., vol. 73, p. 684-696, déc. 2018, doi: 10.1016/j.asoc.2018.09.020.

[38] M. Kurttila, M. Pesonen, J. Kangas, et M. Kajanus, « Utilizing the analytic hierarchy process Ž AHP. in SWOT analysis ƫ a hybrid method and its application to a forest-certification case ȣ », p. 12, 2000.

[39] Y. Jiaqin et L. Huei, « An AHP decision model for facility location selection », Facilities, 1997.

[40] Q. Le et T. Mikolov, « Distributed Representations of Sentences and Documents », Int. Conf. Mach. Learn., p. 1188-1196, 2014.

[41] E. L. Park, S. Cho, et P. Kang, « Supervised Paragraph Vector: Distributed Representations of Words, Documents and Class Labels », IEEE Access, vol. 7, p. 29051-29064, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2901933.

[42] M. K. Dalal et M. A. Zaveri, « Automatic Text Classification: A Technical Review », Int. J. Comput. Appl., vol. 28, no 2, p. 37-40, août 2011, doi: 10.5120/3358-4633.

[43] D. Sarkar, Text Analytics with Python: A Practitioner’s Guide to Natural Language Processing. Berkeley, CA: Apress, 2019. doi: 10.1007/978-1-4842-4354-1.